

千葉第4焼結工場における高生産率操業

© 1990 ISIJ

技術報告

小幡 昊志*・高橋 博保*・中村 勝*
夏見 敏彦*・駒村 聖*

High Productivity Operation at Chiba No. 4 Sinter Plant

Hiroshi OBATA, Hiroyasu TAKAHASHI, Masaru NAKAMURA,
Toshihiko NATSUMI and Kiyoshi KOMAMURA

Synopsis :

To meet the demand for production increase, high productivity operation has been carried out based on the following targets at Chiba No. 4 Sinter Plant :

- (1) Maintenance of high bed height operation by ensuring and stabilizing permeability of sinter bed.
- (2) Achievement of high productivity and sinter production cost saving through improvement of sinter yield.
- (3) Maintenance of low SiO₂ operation under high productivity operation.

From application of countermeasures for targets above mentioned, the following results were obtained :

- (1) A high productivity operation of 1.8 t/hm² without adding any binder was obtained.
- (2) The total amount of return fine has been decreased from 400~450 kg/t-s to 260~300 kg/t-s.
- (3) Sinter production cost has been decreased and cost minimum point has shifted to high productivity side.

Key words : sinter yield ; uniform sintering ; systematization ; permeability ; screening ; hearth layer ; productivity.

1. 緒 言

鉄鋼業を取りまく経済環境が変化する中で、製鉄部門では、高炉の主原料の大部分を占める焼結鉱の製造コスト低減が重要な課題の一つである。

川崎製鉄(株)千葉製鉄所では、従来より、安価原料の多配合、低 SiO₂ 焼結鉱の製造¹⁾等をベースとした原料コストの削減、および新型点火装置の開発²⁾、排熱回収設備の導入、焼成管理のシステム化³⁾等による焼成エネルギーの低減に努め、焼結鉱製造コストの低減という上記課題の達成に努力してきた。

また、操業技術改善の展開のみではなく、固定費を削減すべく 1987 年 7 月には、生産集約の一環として第 3 焼結工場を休止し、第 4 焼結工場に傾斜させる方策を実施した。このような背景と第 3 焼結工場の休止以降、内需拡大の効果で増産基調となったことから、焼結鉱製造コストの上昇を防止しつつ高生産率操業を達成することが第 4 焼結工場に課された課題となった。

高生産率操業は、焼結時間の短縮に伴う焼結高温保持

時間の減少等の焼成条件の悪化による、焼結鉱歩留りの低下をひき起こし、用役およびバインダー使用の増加等によって、焼結鉱製造コストの上昇に大きく影響してくる。しかし、第 4 焼結工場では、焼結層内の通気性の確保、焼結鉱の歩留り向上、低 SiO₂ 操業の維持等を核とした対策を適用することにより、焼結鉱製造コストの上昇を防止しつつ高生産率操業を実施するとともに焼結鉱歩留りの向上も可能にした。

本報では、千葉第 4 焼結工場における高生産率操業の考え方、方法および対策の適用について報告する。

2. 高生産率操業達成における考え方

Fig. 1 に第 4 焼結工場の高生産率操業達成における考え方と対策を示すが、ここではコストアップとなる生石灰、消石灰等のバインダー無添加下での高生産率操業の達成を前提とした。これらの達成にあたり、

(1) 焼結層内の通気性の確保と安定化による高層厚操業の維持

(2) 焼結鉱の歩留り向上による生産性の上昇とコスト

昭和 63 年 11 月本会講演大会にて発表 平成元年 5 月 16 日受付 (Received May 16, 1989)

* 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

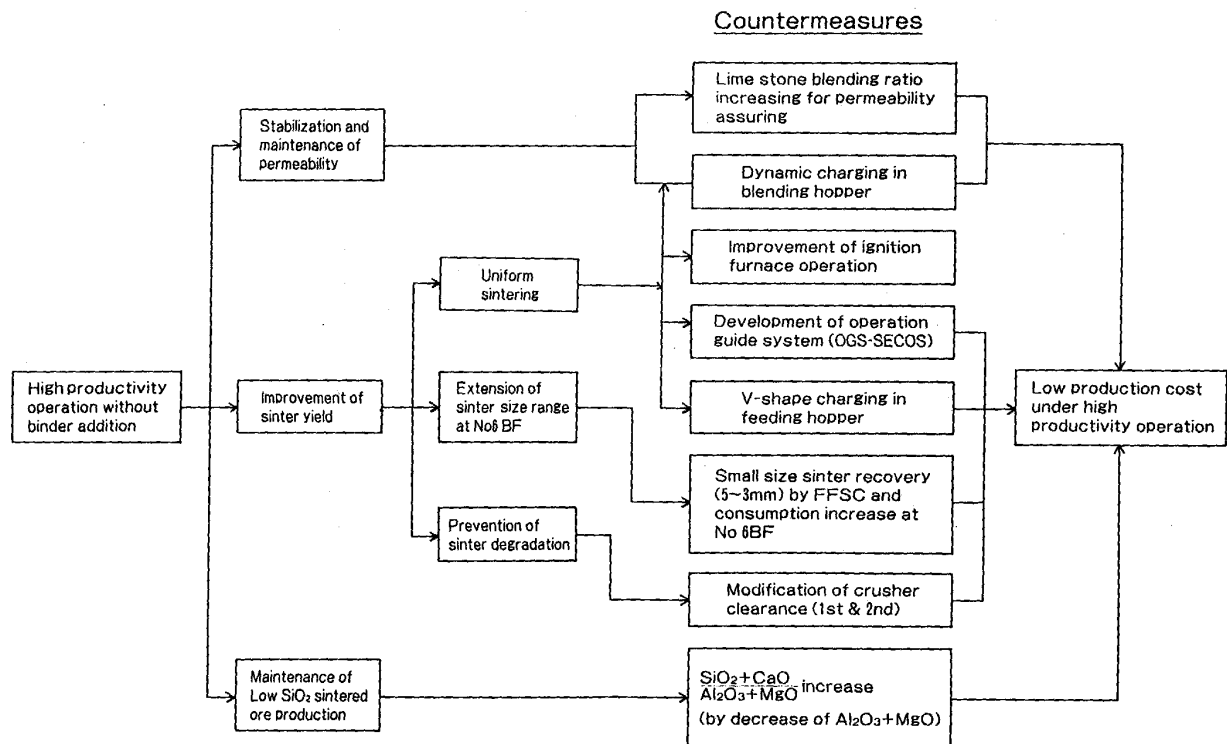


Fig. 1. Basic concepts and countermeasures for high productivity operation.

アップの防止

(3) 高生産率操業下での低 SiO_2 操業の維持を骨子として、おのおのの対策を講じた。

3. 通気性改善と焼結鉱の歩留り向上対策

今回、焼結鉱の歩留り向上を図るためのアイテムを以下の3点に大別し、それらへの対策を実施した。

- (1) 焼結ケーキの均一焼成
- (2) 高炉での焼結鉱使用粒度範囲の拡大
- (3) 破碎工程での粉化防止

3.1 均一焼成

焼結鉱の歩留り向上を図るためには、焼結ケーキ全体での溶融のバランスを保ち、より強度の高い焼結鉱を製造することが重要である。すなわち、焼結機上での均一焼成がキーポイントである。第4焼結工場では均一焼成にあたっては、

- (1) 焼成管理の強化
- (2) 通気性の確保と安定化
- (3) パレット幅方向での均一焼成
- (4) パレット高さ方向での均一焼成

を積極的に推進し以下の対策を実行した。

3.1.1 焼成管理のシステム化

焼結操業において、主排ガスの吸引圧力や温度に関する設備上の制約、焼結鉱の品質、生産量等の目標値を満

足し、かつ低コストで焼結鉱を製造するためには、焼結ベッドの通気性を適正レベルに管理する必要がある。

このような考え方を基本にして、従来オペレーターの経験に頼る面が多かった操業因子の操作の標準化と通気変動の低減及び炭材レベルの適正化を目的として、自動操業システムを開発し実用化した。

Fig. 2 に示すように本自動操業システムは、操業ガイドシステム (OGS: Operation Guide System) とそのサブシステムである焼成エネルギーコントロールシステム (SECOS: Sinter Energy Control System) から構成されており、前者は通気性、設備制約および生産量に関する総合的状況判定を行いアクションを指示するメインシステムに加え、通気判定のための予測関数と境界値を提供する自己修正システムを保有している。

また、後者は焼成排ガス情報および排鉱部の焼成ケーキ情報から焼結ベッドの熱レベルを検出し、OGS のアクション指示を考慮してコークス配合比を制御する機能を持ったシステムである。

従来のオペレーターによる操業と比較した場合、自動操業システムの適用により焼成の安定化が図れ、返鉱発生比、コークス原単位の低減効果が得られた³⁾。

3.1.2 配合槽へのダイナミック装入の導入

第4焼結工場では粉ベッド原料の配合槽を4槽保有し、従来は各配合槽ともに槽レベルを70%以上で管理

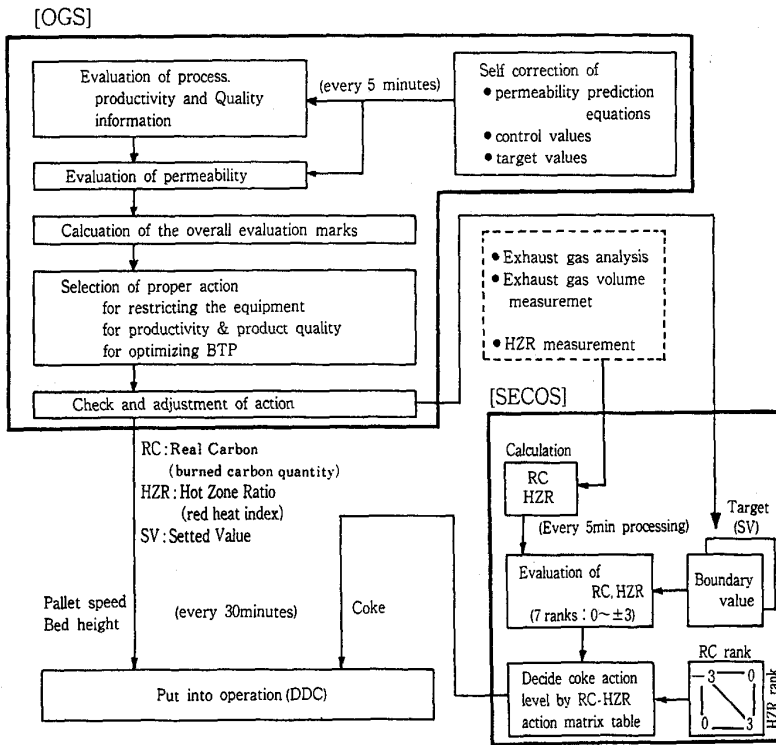


Fig. 2. General flow chart of the automatic operation system.

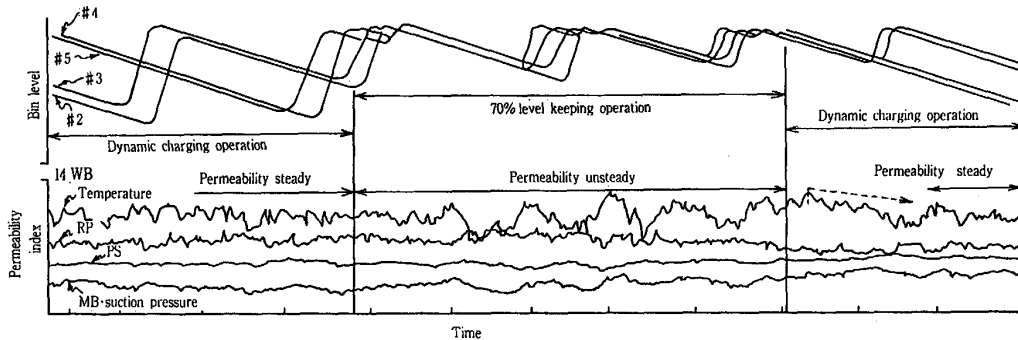


Fig. 3. Effect of dynamic charging operation.

する方式を採用していた。すなわち、槽レベルが80%近傍まで低下した時、順次、4槽全部に原料を装入する方法である。この場合、周期的な槽レベルの高低における槽内の粒度偏析によって原料排出時には時系列的な粒度変動が発生し、焼結操業での通気性の不安定を招いていた。通気安定化対策として配合槽4槽中、2槽ずつ40%レベルで原料を受け入れ、受け入れる2槽の原料装入タイミングは、受け入れない2槽の原料装入時間軸の中間とする原料装入方式(ダイナミック装入)を導入した。この装入方式は、配合槽内で原料をおのおの2槽ずつ粒度偏析させ、4槽の原料切出し時にコンベヤー上で原料粒度を均一化することを狙ったものである。すなわち、槽レベルが低いところからは常に粒度が粗い原料、槽レベルが高いところからは常に粒度が細かい原料が排

出される。これらは後工程で混合され、焼結機には時系列的に粒度変動がない原料が供給できる⁴⁾。

Fig. 3にダイナミック装入実施前後での焼結操業における通気性の変化を示す。通気指数である14WB温度(排鉱部ウインドボックスの温度)、RP(給鉱部での排風量/排風圧力)、PS(パレットスピード)、MB吸引圧力(メインブローア吸引圧力)を見ると、いずれもダイナミック装入実施時には実施していない時よりも変動が小さく、通気性の安定化が得られたことを示している。また、この通気性の安定化は高層厚操業維持への有効な手段となった。

3.1.3 焼結点火法の改善

第4焼結工場では、従来より当所で開発した点火装置ラインバーナーを採用している。ラインバーナーについて

ては既報のごとく²⁾以下の長所を有し、点火熱量原単位
の大幅な削減に効果があった。

(1)多孔式およびスリット式バーナーノズルの採用に
より、均一なショートフレームが得られ、効率的な集中

点火が可能である。

(2)操業上の変動に対処できる追従機能(バーナーの
高さおよび角度の調整が可能)を持っている。

均一焼成を目的として、今回更に原料着火温度のばら
つきを低減するために以下の改善を行った。

(1)Fig. 4 に示すように、バーナーフード周囲のシー
ル強化を行い、バーナー火炎のフード外への放散や外気
吸引等によるパレット幅方向での表面温度のばらつきの
低減を図った(中央部とサイド部の温度差を 60°C→
25°C に低減)。

(2)表面温度制御において、温度測定器を熱電対から
放射温度計に変更した、その結果 Fig. 5 に示すように、
表面温度のばらつきが低減した。

更に上記改善に加え、ラインバーナーの角度調整機能
を有効に利用し、点火時に発生する高温排ガス点火まえ
の原料と極力、長い時間、接触できるようにした。その
効果として配合原料擬似粒子の崩壊量を減少させ、通気

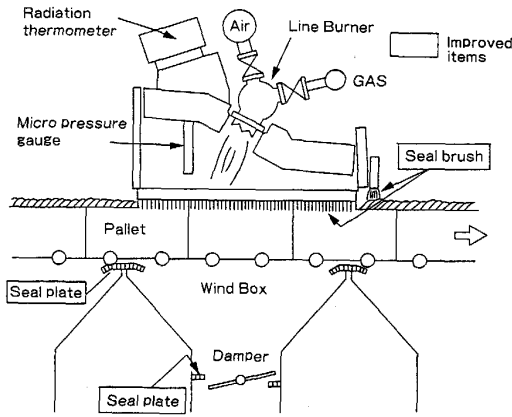
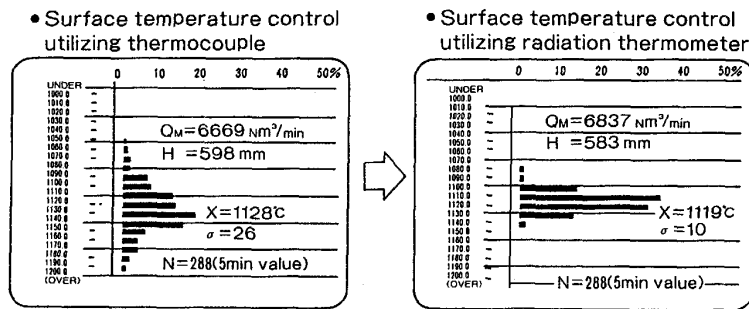


Fig. 4. Sectional view around line burner.



Q_M : Exhaust gas volume
 H : Bed height

Fig. 5. Comparison of surface temperature deviation between thermocouple and radiation thermometer.

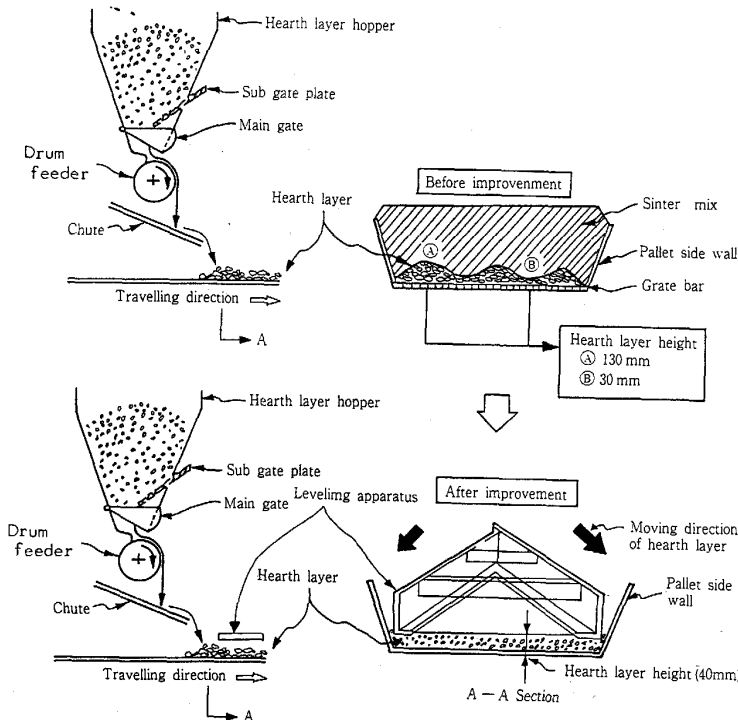


Fig. 6. Outline of hearth layer height leveling apparatus and variation of hearth layer height before and after improvement.

性の向上が得られた⁴⁾。

3.1.4 床敷鉍層厚の平滑化

床敷鉍は原料の漏鉍防止、グレートバーの保護および排鉍部で焼結ケーキを容易に排鉍できるようにする目的で使用されている。床敷鉍使用量は、それらの目的が達成できる必要小限に設定することが基本である。また、パレット上に供給された時の床敷鉍層厚は、幅方向において平滑化されていることが必要で、焼結ケーキを均一焼成するにあたっては重要ポイントとなる。

第4焼結工場の床敷鉍給鉍装置は、Fig. 6に示すようなロールフィルダー式で、ドラムフィーダーとメインゲート、さらに幅方向の微調整を行うサブゲートプレートから構成されている。しかし、上記床敷鉍装置では、パレット幅方向における層厚の乱れが発生していた。また、これに起因して、溶着防止の観点から、床敷鉍装用量が少ない部分を保護するために、床敷鉍使用量の増大も余儀なくされていた。

上記問題を是正するために、床敷鉍ホッパーと給鉍ホッパー間に床敷鉍層厚を平滑できるスクレーパー型の

層厚平滑装置を設置した。この結果、幅方向における床敷鉍の層厚は平滑化され、Fig. 7にしめすように幅方向焼成温度のばらつきが減少するとともに、焼結ケーキ全体の層厚一定下で、床敷鉍使用量も120 kg/t-s近傍から80 kg/t-sのレベルまで低下し、歩留り向上に寄与した。

また、パレットサイドへの細粒原料の給鉍を目的として、給鉍ホッパーでの原料堆積形状のV型装入を実施しており、焼成の均一化による歩留りの向上を確認している^{4)~6)}。

3.2 高炉での焼結鉍使用範囲の拡大

焼結鉍の歩留り向上の手段として、高炉の炉況を乱すことなく、焼結鉍使用下限粒度を低下するものも大きなポイントである。

千葉製鉄所では従来より、焼結鉍の高炉槽下粉から+3mmサイズ(細粒焼結鉍)を回収し、高炉用原料として使用してきた⁷⁾。しかし、上記対策を実施するにあたり、細粒焼結鉍を定められた品質(篩上への分級点以下粉の混入率における制限)で最も効率的な回収ができる篩分け方法が必要である。また、高炉での使用に関しても、炉況を阻害することなく使用できる技術が重要である。今回、第4焼結工場~第6高炉系での細粒焼結鉍の効率的回収と多量使用を目的としてフリップフロスクリーン(FWSC)を導入するとともに第6高炉の原料装入方法を一部変更した⁸⁾。

3.2.1 FFSCの導入による細粒焼結鉍の効率的回収

Fig. 8にFFSCの設備概要を示す。FFSCの可撓性

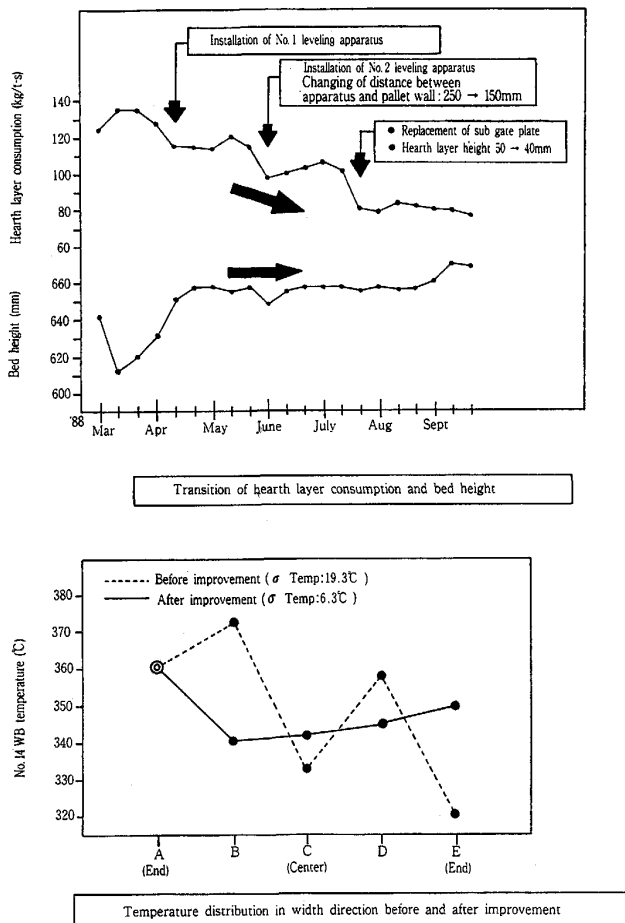


Fig. 7. Effect of hearth layer height leveling apparatus.

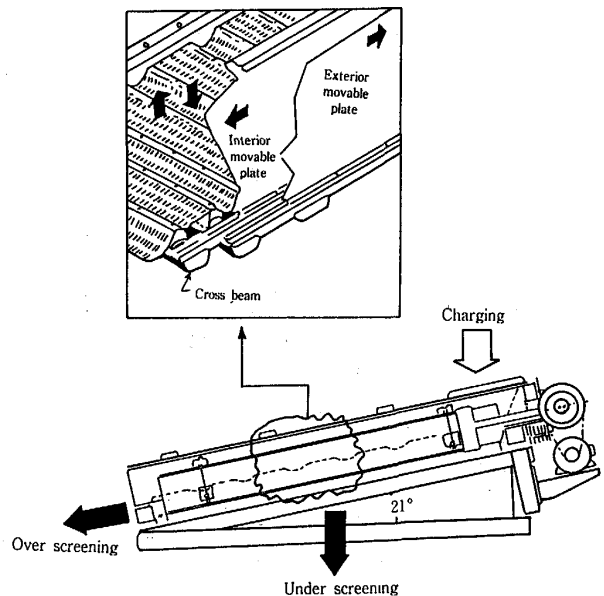


Fig. 8. Schematic of flip flow screen and its screening mechanism.

の篩網を圧縮及び引張ることにより、原料を跳ねるあげて篩分けを行う。

その動作特性により、以下の効果を発揮する。

- (1) 粒子の表面に付着した微粉を払い落とす
- (2) 粒子間の凝集をほぐす
- (3) 篩網への原料の付着と突きさざりが起きにくい

Fig. 9 に FFSC と通常スクリーン (リップフロータイプ) における性能比較結果を示す。FFSC の場合、

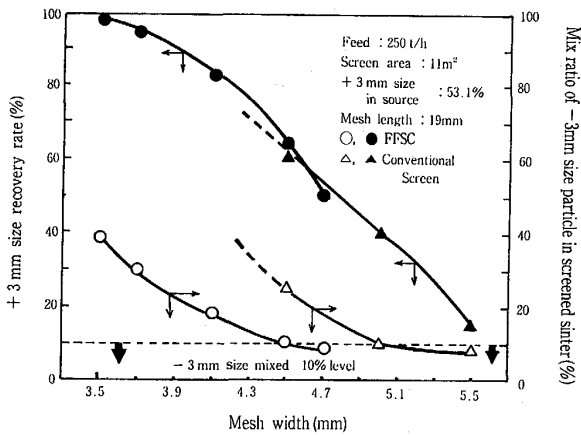


Fig. 9. Comparison of screening efficiency between flip flow screen and conventional screen.

通常スクリーンに比較して、同レベルの篩上-3 mm 混入率を目標とする際、篩目を縮小でき細粒焼結鉄の回収率を上昇できる。

3.2.2 第4 焼結工場 3次スクリーンの篩目

焼結工場内を循環する返鉄中に+3 mm サイズが 20% 程度混入していることに着目し、これから細粒焼結鉄を回収して歩留り向上を図ろうとしたものである。

3次スクリーン (焼結工場内の最終スクリーン) の篩目縮小にあたっては、以下の点を基本とした。

- (1) 3次スクリーンの篩目を 5×25 mm から 4×25

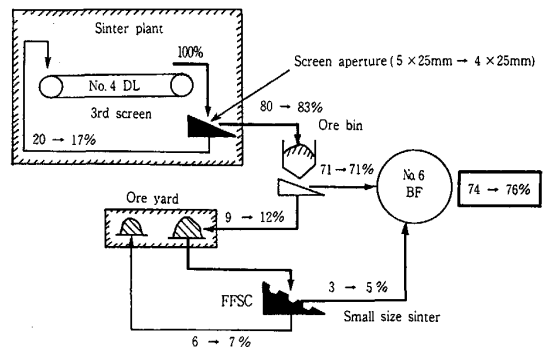


Fig. 10. Mass balance changing before and after modification of 3rd screen plate aperture.

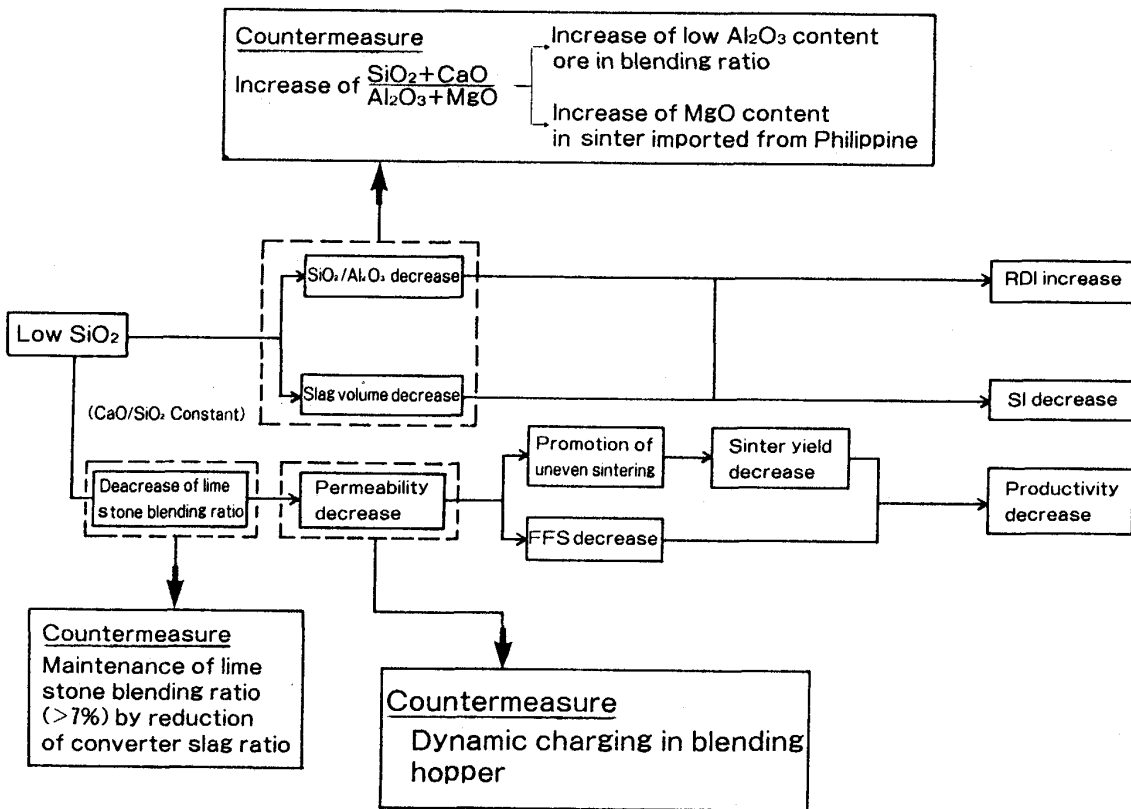


Fig. 11. Effect of low SiO_2 operation and countermeasures.

mm に縮小し、3~5 mm サイズを第6 高炉貯鉱槽下スクリーンを介して焼結工場外にだす。

(2) 焼結工場系外にだした 3~5 mm サイズを FFSC に給鉱し、篩分けして細粒焼結鉱を回収する。

この結果、Fig. 10 に示すように歩留りが 2% 上昇した。

また、第6 高炉へ装入原単位で 80 kg/t-p の細粒焼結鉱が供給できるようになった。

3.3 破碎工程での粉化防止

第4 焼結工場は破碎装置としてクラッシャーを2 台有している。このクラッシャーでの焼結鉱の過粉碎を防止する目的で1 次クラッシャー(190→214 mm)と2 次クラッシャー(90→130 mm)の間隙拡大を実施した。その結果、粒度構成が変化し焼結鉱平均粒度の上昇が見られたが顕著な過粉碎防止効果を見るまでには至らなかった。

4. 高生産率操業下における低 SiO₂ 操業対策

今回の低 SiO₂ 操業は副原料の削減、高炉の水砕品質のために〔3 元塩基度 ((CaO+Al₂O₃+MgO)/SiO₂) の

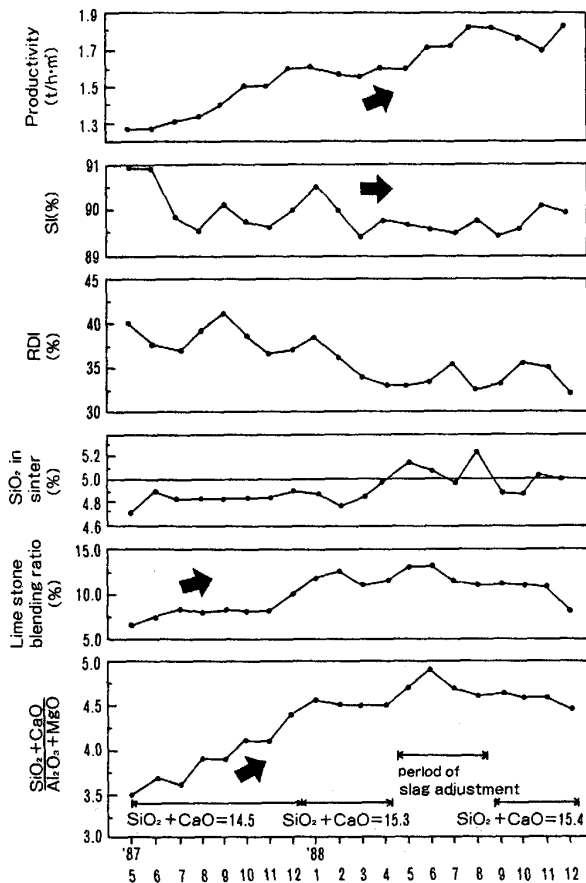


Fig. 12. Operation results at Chiba No. 4 sinter machine.

管理], 高生産率操業下において SiO₂ 5.0% 近傍で操業を可能にすることを基本とした。

従って、高生産率操業の移行に伴い律速になると考えられる冷間強度 (SI) については、SiO₂+CaO は一定で、悪影響を及ぼす Al₂O₃+MgO を低下させ対応した。

Fig. 11 に低 SiO₂ 操業の影響とそれらにおける対策を示す。Al₂O₃+MgO の低下においては、低 Al₂O₃ 鉱の増配と他の原料(フィリピンから輸入している焼結鉱)の MgO の上昇を実施した。また、通気性の確保のためには、前章で述べた通気性改善対策(配合槽へのダイナミック装入と点火前保熱法)の実施と石灰石の配合率の確保(7% 以上)を行った。

5. 焼結操業結果

Fig. 12 と Fig. 13 に第4 焼結工場における操業推移を示す。87 年前半の生産率は 1.3~1.4 t/hm² で推移していたが、87 年7 月以降、第3 焼結工場の休止と景気

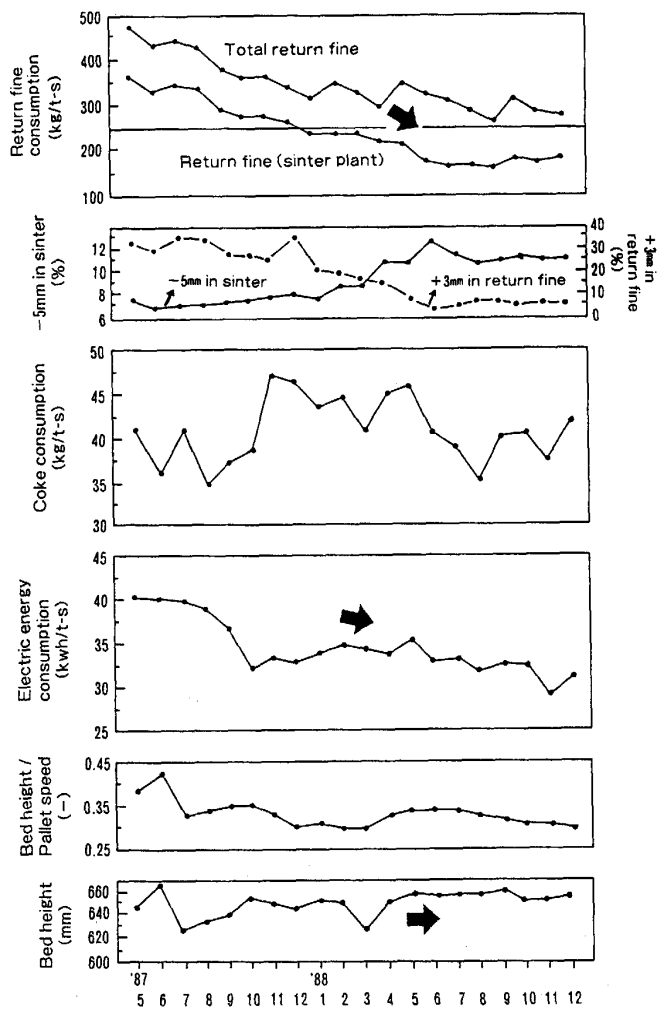


Fig. 13. Operation results at Chiba No. 4 sinter machine.

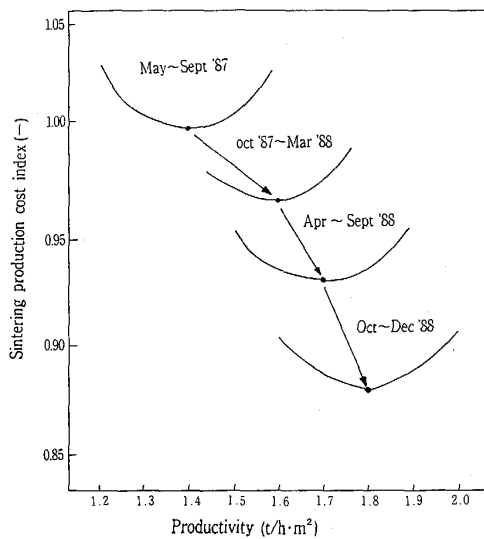


Fig. 14. Relation between productivity and sintering production cost index.

の好転から増産基調となり、生産率 1.8 t/hm² 近傍の高レベルまで到達した。この間の操業結果をまとめると以下ようになる。

(1) 通気性の改善

配合槽への原料装入方法の改善、石灰石配合率の確保等により、通気性の確保と安定化が図れた結果、高生産率操業時でも高層厚操業が可能となり、品質を悪化させることなくバインダー無添加下での高生産率操業を達成できた。

(2) 焼結鉱の歩留り向上

通気性の確保と安定化を含む焼結機上での均一焼成に関する操業改善、過粉碎防止策および細粒焼結鉱の効率的回収による高炉での多量使用を核として歩留り向上を推進した結果、第4焼結工場の総合返鉱原単位(第6高炉返鉱+第4焼結工場内返鉱)は400~450 kg/t-s から260~300 kg/t-s まで削減でき、生産率 1.8 t/hm² 近傍での高生産率操業の達成に大きく寄与した。

(3) 低 SiO₂ の維持

高生産率操業への移行時は、焼結鉱強度の低下防止及び通気性の確保を目的として、SiO₂ レベルを上昇させるのが通常であるが、第4焼結工場の場合、前者に対しては SiO₂+CaO/Al₂O₃+MgO の上昇で後者については上述した通気改善策の実施により対応した結果、高生産率操業での低 SiO₂ (5.0% 近傍) 操業を達成した。

SiO₂+CaO/Al₂O₃+MgO の上昇は、低 Al₂O₃ 鉱の増配と他の原料(フィリピンから輸入している焼結鉱)の MgO の上昇より、冷間強度に悪影響を及ぼす Al₂O₃+

MgO を低下させ対応した。

また、SiO₂ の推移では 5.0% 以上の点が見られるが、これは高炉での Al₂O₃ が上昇したためのスラグの流動性の改善と水砕の品質調整等により、MgO, Al₂O₃ を故意に上昇させ、SiO₂ レベルを上昇させたものである。

(4) 焼結鉱製造コスト

高層厚操業と低 SiO₂ 操業の維持および焼結鉱の歩留り向上により、コークス原単位、電力原単位等は低レベルで推移するかあるいは低下傾向にある。その結果、Fig. 14 に示すように、生産率の上昇にもかかわらず焼結製造コストは低下し、コストミニマム点が高生産側へ移行した。

6. 結 言

川崎製鉄(株)千葉第4焼結工場は増産基調に対応するため、

(1) 焼結層内の通気性の確保と安定化による高層厚操業の維持

(2) 焼結鉱の歩留り向上による生産性の上昇とコストアップの防止

(3) 高生産率操業下での低 SiO₂ 操業の維持

を骨子として、おのおのの対策を実施した。その結果、品質を悪化させることなくバインダー無添加下での高生産率操業(生産率 1.8 t/hm²)を達成した。

また、焼結製造コストについても、コストミニマム点が高生産側へ移行するという好結果をもたらした。

今後は、焼成技術はもとより、抜本的なプロセスの改善を検討し、低コスト高生産技術の確立を図っていく考えである。

文 献

- 1) 小幡昊志, 高橋博保, 中村 勝, 柏倉照男: 材料とプロセス, 1 (1988), p. 30
- 2) 才野光男, 高橋博保, 田中邦宏, 二上伸宏, 中村 勝: 鉄と鋼, 71 (1985), p. 61
- 3) 小幡昊志, 高橋博保, 中村 勝, 夏見敏彦, 田辺仁志: 材料とプロセス, 1 (1988), p. 958
- 4) 川崎製鉄・千葉: 日本鉄鋼協会共同研究会第72回製鉄部会提出資料 1988年5月, 鉄-72-8-自
- 5) 新日本製鉄・名古屋: 日本鉄鋼協会共同研究会第70回製鉄部会提出資料 1987年5月, 鉄-70-17-共
- 6) 住友金属・小倉: 日本鉄鋼協会共同研究会第70回製鉄部会提出資料 1987年5月, 鉄-70-2-共
- 7) 才野光男, 高橋博保, 田川義輝, 皆川俊則, 中村 勝, 沢田寿郎: 鉄と鋼, 72 (1986), S875
- 8) 小幡昊志, 駒村 聖, 中村 勝, 夏見敏彦, 片山忠雄, 皆川俊則: 材料とプロセス, 1 (1988), p. 1063
- 9) 篩分け・分級破碎 (1969) [日刊工業新聞社]